

Proceedings of Tokai University
Research Institute of Science and Technology

東海大学紀要

総合科学技術研究所

2016 Vol.37



RIST

Research Institute of Science and Technology

東海大学 紀要 総合科学技術研究所

Proceedings of Tokai University
Research Institute of Science and Technology

2016 Vol. 37



Research Institute of Science and Technology

ご挨拶

資源とエネルギーに乏しい日本は、科学技術をもって国を立てていく必要があります。先端性のある優れた研究を融合させてイノベーションを起こし、それらの成果を教育に還元することが大切です。

東海大学総合科学技術研究所は、1948年に設置された産業科学研究所をその前身とし、本学創立者松前重義博士の科学技術立国の思想を脈々と受け継いでいる研究所であり、東海大学の付置研究所としては、最も歴史の古い研究所であります。

当研究所は、その名の示す通り幅広い研究分野を対象とし、総合的な立場から東海大学の先端性の高い理工学系を中心として社会にイノベーションを起こせる研究活動を推進することをミッションとしております。選択した研究課題の社会実装化はいつも大変な困難が伴います。いずれの機関においてもすべての研究課題に大きな投資を続けられるわけではありません。何を基幹の研究課題に挙げて推進するかは占いで決めるわけではないでしょう。研究所の活動に参加してもらおう研究チームで、切磋琢磨し独創性に磨きをかけて新たな研究投資を勝ち取るような姿勢がないと次代を担うイノベーションを起こす研究とはなりえないでしょう。大学の理工学系の研究課題を柔軟に取り込み、将来必要な科学技術の課題を見据え基礎研究を産業貢献まで持つていくことが、学界と産業界で協力して科学技術の横通しを行う重要な点です。

創始者の科学技術立国の思想を継承し、本学の優れた研究を融合させて新たに特色ある学際的研究、すなわち、“研究の峰”を形成する制度も2015年に始まり骨格が出来上がりつつあります。このような活動から研究拠点を形成して国際社会に貢献するという‘芽’が出ていると自負しています。その中から、先にも述べたように産官を巻き込んで、わが国発のイノベーションを起こせるよう大学の看板となる研究が総合科学技術研究所で育成できるでしょう。

今後、東海大学総合科学技術研究所は、単なる産官学連携の研究拠点として活動するだけでなく、企業と対等に組織的な研究連携を進め、多くの研究開発人材の大学への還流から、さらなる知の好循環と人材の好循環を生むような施策を立ててまいります。2016年度「東海大学紀要 総合科学技術研究所」として研究論文を掲載し、研究所の活動の一端をご紹介しますので、ご高覧頂ければ幸いです。今後の研究所の活動に対し、ご指導ご鞭撻のほどお願い申し上げます。

東海大学総合科学技術研究所
所長 山口 滋

目次—CONTENTS—

- 総合科学技術研究所 所長挨拶・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・2

- 雲による太陽放射増量の解析結果・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・4
 竹 下 秀（総合科学技術研究所）

- 先端赤外光源とその分光分析応用の研究・・・・・・・・・・・・・・8
 山 口 滋（総合科学技術研究所、理学部物理学科）
 藤 井 大 地、佐 藤 和 秀（大学院理学研究科物理学専攻）

- デジタル一眼レフカメラによる鋼球の自由落下の瞬間写真撮影
 —マルチフラッシュによる多重露光と重力加速度計測—・・・・・・12
 横 山 直 樹（総合科学技術研究所）

- 2016年度プロジェクト研究
 （総合研究機構プロジェクト研究分）課題紹介・・・・・・・・・・・・ 18

雲による太陽放射増強量の解析結果

竹下 秀（東海大学総合科学技術研究所）

Research on the enhancement rate of solar radiation on the ground by clouds

Shu TAKESHITA (Research Institute of Science & Technology, Tokai University)

キーワード：太陽放射，紫外線，増強効果

Keywords: clouds, enhancement, solar radiation

It is confirmed that there is a day when the solar radiation on the ground was larger than the solar constant which is the irradiance at the outside the earth's atmosphere. Considering absorption and scattering by the atmosphere, this phenomenon is an abnormal value. To clarify the enhancement of solar radiation on the ground, global total irradiance, global ultraviolet-A (UV-A) and global ultraviolet-B (UV-B) irradiances measured at the Shonan Campus of Tokai University were evaluated using by synchronized all-sky images. Enhancement of global irradiance is observed when low layer clouds are spreading around the sun. Global total irradiance is enhanced about 36 % more than cloudless clear sky condition. This enhancement is also observed on global UV-A and global UV-B irradiance. However, enhancement rates of global UV-A and global UV-B are smaller than that of global total irradiance. It was concluded that the enhancement is occurred by the multi-reflection between low layer clouds and ground, and enhancement rate is mainly dependent on the ratio of direct irradiance to global irradiance.

1. はじめに

東海大学総合科学技術研究所では、1990年10月から、東海大学湘南校舎（北緯35度21分、東経139度16分）において、成層圏オゾン層破壊に伴う太陽UV-B紫外線（波長280–315nm）の観測を、太陽UV-A紫外線（波長315–400nm）と日射（波長300–3000nm）と共に実施している¹⁾²⁾。その後、観測地点を稚内（北緯45度21分、東経141度49分）、熊本（北緯32度50分、東経130度52分）、西表（北緯24度25分、東経123度47分）に展開し、日本全国における太陽UV-B紫外線環境の違いや長期的な変動傾向の解析を実施している³⁾。1990年当時はデータ収録に使用するパーソナルコンピュータの処理やデータ記録能力の制限により、データロガーによって計測された5分毎の瞬時値と20秒毎の計測値の5分間平均値しか記録できなかった。1996年に設置した熊本観測点以降、10秒毎の瞬時値を記録するようシステムを変更した。その際に、日射の観測値が、大気圏外の鉛直面の放射照度である太陽定数1366 W/m²を超える場合が存在することが明らかになった。しかし、この原因は長らく不明であった。2011年に西表に全天カメラが設置され、30分毎の天候が記録されるようになったこと⁴⁾により、観測時の雲が、地上に到達する太陽光強度に影響を与える可能性が示唆された⁵⁾。東海大学湘南校舎にも2015年に全天カメラを設置し、日射などとの同期観測によって、雲が太陽光強度増強に寄与することが明確になった⁶⁾。本報では、その増強効果量の解析結果の一例を報告する。

2. 太陽放射と全天画像の観測方法

太陽放射の観測システムは次の通りである。東海大学湘南校舎内の建物の屋上に設置された太陽UV-B紫外計測器（MS-210W、英弘）、太陽UV-A紫外計測器（MS-212A、英弘）、日射計（MS-801、

英弘) の出力は、データロガー (Cadac 21L、江藤) により 20 秒毎に観測され、制御用パーソナルコンピュータに記録される。太陽 UV-B 紫外計、太陽 UV-A 紫外計、日射計はそれぞれ 2 台使用し、1 台は水平面に設置して全天量を、もう 1 台は太陽からの直達光を遮る遮蔽バンド (MS-11、英弘) に載せて水平面に設置し、散乱量を測定する。全天画像は、一眼レフカメラ (D5300、ニコン) に全周魚眼レンズ (4.5 mm F2.8 EX DC、シグマ) を取り付け、パーソナルコンピュータを用いて 1 分毎に画像を取得する。一眼レフカメラの制御には、digiCamControl (Duka Istvan 氏作) を用いる。24 時間連続で取得できるよう、カメラは防水ケースに入れ、太陽放射観測装置が設置されている建物の屋上に設置している。屋上の設置風景を Figure 1 に示す。



Figure 1 Photograph of solar radiation monitoring system installed at the Shonan Campus of Tokai University.

3. 実験結果と考察

東海大学湘南校舎において、全天日射量が太陽定数を超えた時の日射、UV-A、UV-B 及び全天カメラの観測結果を Figure 2 に示す。これは 2017 年 7 月 5 日に記録された。この日の南中時間と南中高度は、それぞれ 11:47 JST と 77.4 度である。この日の全天日射量の最大値は 12:00:40 JST に 1.391 kW/m² として記録され、この時の太陽高度は 77.1 度である。この観測値は太陽定数よりも 1.8 % 大きい。また、太陽の周辺に低層の雲が広がっていることが分かる。一方、この日の 11:29:00 JST (太陽高度 76.8 度) は、太陽の周囲には雲はほぼ存在しておらず快晴であり、その時の全天日射量は 1.029 kW/m² である。全天日射量の最大値が記録された 12:00:40 JST と 11:29:00 JST との太陽高度の差は 0.6 度しかない。太陽高度が 1 度未満の差は、地上に到達する日射量に大きく影響しないことが経験的に分かっている。すなわち、12:00:40 JST 時点で全天に雲が存在しない場合は、11:29:00 JST の全天日射量である 1.029 kW/m² となり、低層の雲が太陽の周辺に広がったことにより、35.2 % (0.362 kW/m²) も全天日射量が増強されたと考えられる。全天日射量は散乱日射量と直達日射量の和である。次に散乱日射量に着目する。

太陽の周辺に低層の雲が広がっている 12:00:40 JST 及び太陽の周囲に雲が存在しない 11:29:00 JST の散乱日射量は、それぞれ 0.452 kW/m² 及び 0.119 kW/m² であり、12:00:40 JST の散乱日射量は 11:29:00 JST よりも 3.8 倍も多く、0.333 kW/m² 増加したことになる。すなわち、全天日射量が大きく増えた原因は、低層の雲が広がり、散乱日射量が増加したことであることが判明した。

全天日射量に占める散乱日射量の割合は、快晴時は 11:29:00 JST の観測結果から 12 % 程度であり、直達日射量は 0.910 kW/m² となる。これは地上で反射して大気圏外に放射される。地面の日射の反射率は、地面の被覆状況にもよるが 18.27 % である⁷⁾。仮に地上の反射率を 18.27 % とすると、0.166 kW/m² が上空に反射され、このうちの数パーセントが再度、低層の雲によって反射されて地上に到達する。ここで低層の雲の反射率を 100 % と仮定すると、全天日射量は 0.166 kW/m² 増加することになる。快晴時からの全天日射量の増加量は 0.362 kW/m² であるので、地上と低層の雲の間の反射が 1 回だけでは説明できない。地上に到達して上空に反射した太陽光が太陽の周囲に低層の雲によって下方に反射されて再度地上に届き、この地上と雲の相互反射が繰り返し発生したため、全天日射量が 35.2 % も増加したと考察される。

全天 UV-A 紫外線量と全天 UV-B 紫外線量に対しても実施した。これらも低層の雲による増強が認められたが、それぞれ 22.7 % 及び 15.5 % であった。全天日射量の増加量である 35.2 % と比較す

ると、明らかに増加量は小さい。UV-A 紫外線と UV-B 紫外線は、波長が可視光や赤外線と比較して短いためより散乱されやすい。このため全天量に占める散乱量の割合は 50 %程度である。もともと直達量が少ないため低層の雲と地上との多重散乱が発生してもさほど大きく増加しない。さらに地面の紫外線の反射率は、日射の反射率と比較すると低く、5 %から 10 %程度である⁸⁾⁹⁾。直達量が少ないことと、地面の反射率が日射よりも低いために、増加量が全天日射量よりも小さくなったと考察される。

4. 結論

地上で観測された全天日射量が太陽定数を超える場合があることを見つけ、全天画像との同期観測によって、その原因を突き止めた。全天日射量が太陽定数を超える原因は、太陽周辺に広がった低層の雲が原因であり、地上で反射された直達日射量が上空の低層の雲によって地上方向に再度反射される多重反射によって発生したと考察した。同様の解析を全天 UV-B 紫外線量と全天 UV-A 紫外線量についても実施した。全天 UV-B 紫外線量と全天 UV-A 紫外線量でも、全天日射量同様に下層の雲と地上の間の多重反射が原因と考察される増加が発生した。しかし、その増加量は、共に全天日射量よりも低い。この原因は、全天 UV-B 紫外線量と全天 UV-A 紫外線量はもともと直達量が少なく、さらに、地面の反射率が日射よりも低いことが原因であると考察した。

本報告は解析が容易な南中時刻前後のデータを使っている。しかし、南中時前後のデータは限られている。観測を継続するとともに、南中時以外のデータ解析を今後実施する。さらに太陽光強度については定量的にデータを取り扱った。しかし、雲の量や特性や太陽との位置関係については定性的な結果しか扱っていない。これらについても、より定量的に解析を進めたいと考えている。

本研究では、全天画像の記録が必要不可欠である。一眼レフカメラの収納ボックスは、本学情報理学部の中島孝教授より借用させて頂いている。また、カメラのコントロールは Duka Istvan 氏が開発したフリーソフトウェアを使用している。両者に謝意を表す。

参考文献

- [1] Sasaki, M., S. Takeshita et al., Ground-based observation of biologically active solar ultraviolet-B irradiance at 35 ° N latitude in Japan, *J. Geomag. Geoelectr.*, **45**, pp. 473-485 (1993).
- [2] Sasaki, M., S. Takeshita, M. Sugiura and T. Sakata, An increase in the global solar ultraviolet-B irradiance at 35°N in Japan since 1990, *J. Geomag. Geoelectr.*, **46**, pp. 827-834 (1994).
- [3] Takeshita, S. and Masako Sasaki: Solar radiation monitoring network of Tokai University, Japan, *Proc. SPIE*, **5156**, pp. 303 – 310 (2003).
- [4] 中島孝, 長幸平, 河野裕美他, 沖縄西表島における気象観測と雲観測の意義, *西表島研究* 2010, pp. 64 – 69 (2011).
- [5] 竹下秀, “異常気象と気候変動についてわかっていること知らないこと”, ベレ出版, 第 6 章 太陽紫外線, (2014).
- [6] 竹下秀, 雲による太陽 UV-B 放射の増強効果の初期観測結果, *東海大学紀要総合科学技術研究所* 2016, pp.8 – 13 (2017).
- [7] 伊藤真人, ブリュウワー分光光度計による地面反射波長別紫外域日射の精密定常観測結果 2004 年, *高層気象台彙報*, **65**, pp. 37-44 (2005).
- [8] 伊藤真人, ブリュウワー分光光度計による地面反射波長別紫外域日射の精密定常観測結果 2004 年, *高層気象台彙報*, **67**, pp. 20-32 (2007).
- [9] 遠藤恵子, 松江浩二, 竹下秀他, 屋外の各種環境における太陽紫外 UV-B と UV-A 放射量の測定と評価, *照明学会誌*, **82**, pp. 877-884 (1998).

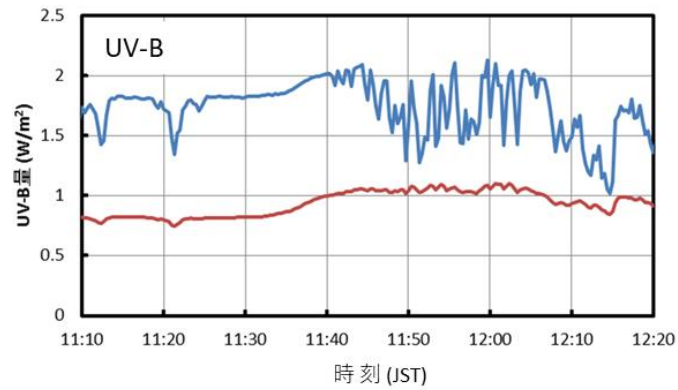
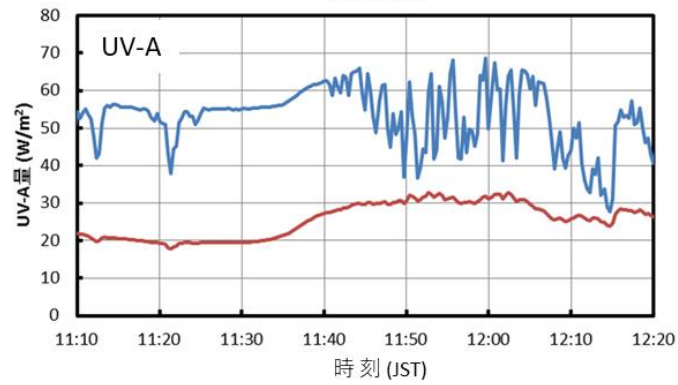
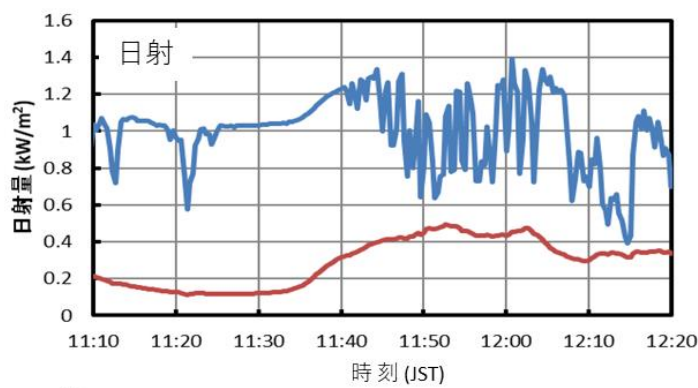
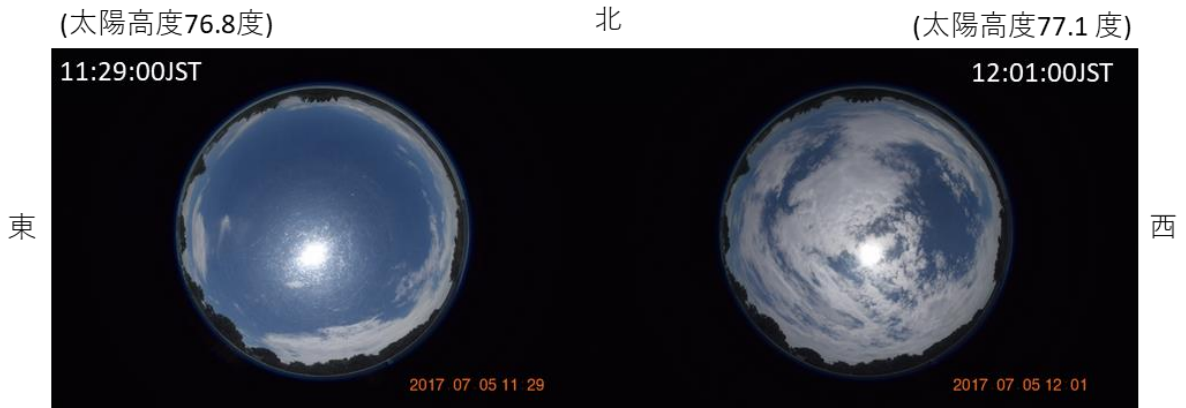


Figure 2 Global/diffused Total, UV-A and UV-B irradiance, and all-sky images when enhancement was observed at the Shonan Campus of Tokai University.

先端赤外光源とその分光分析応用の研究

山口 滋、(総合科学技術研究所)

藤井 大地、佐藤 和秀 (大学院理学研究科物理学専攻)

Study of Advanced Infrared Light Sources and their Spectroscopic Applications

Shigeru YAMAGUCHI, (Research Institute of Science and Technology)

Daichi FUJII, and Kazuhide SATO (Course of Physics Graduate School of Science)

キーワード：レーザー分光分析，赤外レーザー

Keywords: laser spectroscopic detection, infrared laser

Abstract

Advanced infrared light sources and their spectroscopic application are described. Novel laser spectroscopic gas detection method with optical wave microphone(OWM) is proposed. It enables sensitive Photo Acoustic Spectroscopy remotely without installing conventional microphone where acoustic wave stands. We successfully demonstrated to detect acoustic signal from C_2H_2 with OWM system.

1. はじめに

地球の急激な気候の変動や国境を越えて広がる汚染物質の負の影響は、経済活動への大きな懸念材料である。このような変動の因子の一部といわれる温暖化ガスなどは、ppm レベルの大気中濃度変化が気候変化に影響するといわれている。一方、安全・安心対策としてガス漏洩検知、都市での無差別テロ活動を防止するための爆発物や毒物の検知、あるいは抗加齢として医療分野での呼吸の予防診断や機能性食品の検査はこれらの微量ガス分析には 時には～ ppb レベル未満の低濃度で存在する対象の微量物質を高い選択性をもって検出可能で、かつ短時間での計測行うことが要求されてきた。

従来の化学分析は、多成分分析が可能で分解能が高いが前処理も含めて分析時間が比較的長くかかる。バイオセンサーや抗体を利用して微量の物質を検出する試みもあるが、使用温度などに左右される傾向もあり、濃度に対する応答の線形性かつ検出時間の課題もある。これらに対して、光を利用した分析技術や大気の監視技術としては、蛍光分析や吸光分析、フーリエ赤外分光(FIR)、差分吸収分光(DOAS)などが挙げられるが、分光時に他の物質の干渉を受けやすい。この課題を解決する能力があるのがレーザー光による分光分析である。より高い感度や高い時間的・空間的分解能、また波長分解能や選択性の優れた能動的な計測がレーザー発明直後から幅広く研究されてきた。[1] 酸性雨が顕在化した1970年代終盤からは欧米で 100ppt レベルの汚染を素早く感知できるようなレーザー監視システムが研究開発されてきたことは前回にも触れた。[2] わが国でも、同様に通信帯の半導体レーザーや中赤外の半導体レーザーを使用し早くから研究が行われた。[3-9]

環境監視等に利用されるレーザー分光計測では、分子や原子の遷移線に一致して効率良く吸収や蛍光、ラマン散乱を起こすように周波数輝度の高いレーザー光源が要求される。ここ 10 年で通信関連のレーザーの研究開発が飛躍的に進み、赤外線領域から、可視領域、さらに紫外線領域の広い波長範囲で装置を用途に応じて選択し使用することができるようになってきた。小型でかつ高い周波数輝度を得られ、波長の制御が容易な半導体レーザーは、可搬型の赤外吸収分光法によるガスセンサー用光源として、現在もっとも広く研究に用いられている光源だと言えるだろう。分布帰還型(Distributed feedback: DFB)レーザ

一は、優れた発振周波数安定性と発振周波数帯域(1 MHz 程度)を誇る。DFBを用いた近赤外吸収分光法により多くのガス種の測定が非常に盛んに行われており、既に製品として入手可能なものもあり本特集でもとりあげている。また、気体分子の分光という観点からは、中赤外域 (3 μm ~20 μm)は各種分子の基本振動またはその倍音による比較的吸収線強度の大きい吸収が存在する領域であり、その強度は 1.5 μm 領域の 100 倍程度大きい。中赤外領域のレーザー光発生には、最近では 4.5~15 μm で AlGaAs 材料系の量子カスケードレーザー (Quantum Cascade Laser, QCL)が盛んに分光応用研究がなされている。国内でも実際に微量気体の分光ができる光源が市販されており常温連続動作でも安定動作ができるようになってきた。さらに 2 μm 付近や 2.7 μm から 2.9 μm の限定された波長域では、Sb 系の半導体レーザー材料を用い常温で動作する分布帰還型レーザーも市販されるようになった。

上述したような光源を利用した光音響分光装置は、小型かつ安価で安定な分析装置を製作することが期待できる。このような装置では、マイクロホンを内蔵した試料セルを用いた計測手法で音波の発生場点へのマイクロホンの設置が必要である。従って、高温等特殊環境下での計測や遠隔での計測は困難である。そこで、筆者らはレーザー光を用いた音響波の遠隔検知による光音響分光法を提案し研究している。新たな手法では、励起光によって試料が生成する光音響波をプローブ光で検出する。その為、従来の計測手法と異なり遠隔での音響波計測が可能である。本研究では、低出力の通信帯の Distributed Feedback Laser Diode (DFB-LD)を用い、波長域に強い吸収を持つ C₂H₂ ガスを試料として光音響波を遠隔計測し分光した結果について報告する。

2. 実験方法

本研究で用いた実験装置を Fig.1 に示す。DFB-LD の発振波長は 1534.1nm であり、C₂H₂ ガスの吸収スペクトルが存在する波長領域に合わせている。DFB-LD 電源に外部からファンクションジェネレータ(FG)を用いて駆動電流に 31kHz の矩形波の変調を行い、C₂H₂ ガス。音響波は別の可視光プローブ光として波長 638nm の Laser Diode(LD)を使用した。プローブ光の光軸中心から 6mm の位置に励起光の光軸中心を平行になるよう設置した。

励起光とプローブ光を光路長 10cm のガスセルに入射させる。セル内に封入された C₂H₂ ガスは吸収したエネルギーの一部を熱エネルギーに変換し、これにより励起光の変調周波数と等しい周期で気体に粗密を起す。屈折率が周期的に変動する空間にプローブ光を送ると微小に位相変調された回折波が発生する。この粗密波により生じたプローブ光の強度変化はレンズ系を通してフーリエ変換した後、可視光検出器受光面上に音響波の強度変化に応じた光の強度変化を再生する。このような測定系により、吸収によって生じた粗密波、すなわち

音響波を遠隔に検知することが可能となる。音響波は、一般に減衰が大きいので微小な振幅の音響波を遠隔に検知することは技術的困難が伴う。音響の振幅をプローブ光の強度変化に変換することで、遠隔に音場を検知できるようにした。また、本装置では、粗密波の周波数を一定として音響の帯域を狭くしロックイン増幅器を利用することで微小な粗密の変化をとらえることを可能としている。

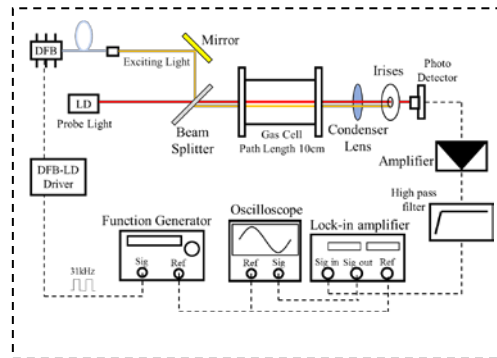


Figure 1. Experimental setup

3. 実験結果

光音響信号を検知する基礎試験としてあらかじめ校正されたスピーカーの音響振幅を与え、可視光プローブ光がとらえる粗密波の圧力差を確認した。測定から μPa 程度の圧力差が、プローブ光の光検出器上の強度変化として捉えられるという結果を得た。これは、市販のコンデンサ型マイクロホンと同等な性能かむしろ良好な感度を持っていることが判明した。

Fig.2 に全圧を変化させて C_2H_2 ガスを測定した際の音響検出信号強度を示す。全圧 760Torr、10% の C_2H_2 ガスに DFB-LD1534.1nm の励起光強度の変化と音響波の規格化信号強度の変化の様子を表す。励起された気体によって生じる音響波の強度は、一般に気体が吸収した励起光の強度、媒質の吸収係数、濃度に依存する。結果から、試料ガスの濃度変化による励起光の吸収率すなわち音響波強度の変化とそれに対する信号強度がよく一致している。

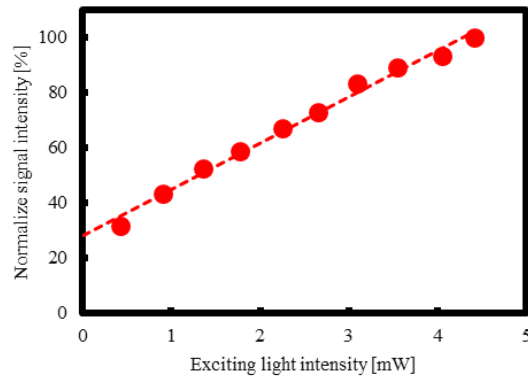


Figure 2. Normalize signal intensity at each output of exciting light intensity

4. まとめ

数 mW の励起光入力で生じた音場を遠隔に捉えて光音響分光ができる事を示した意義は大きい。一般にライダー方式（レーザーライダー方式）で差分吸収法などを行って光吸収信号をとらえる方式に比べて励起光源の小型化が容易にできる事につながるからである。ライダー式の光源では、距離が 10m にもなれば、ピークパワーで 100kW レベルが一般的である。しかし、本方式であれば 100mW 程度の光源で低濃度のガスによる音響信号を明確に捉える可能性が出てきた。さらに、本研究で構築した赤外音響分光装置の音響検知方式では可視光の安価な LD と光検出器の組み合わせで実現できるので、赤外の半導体光センサーを吸収光測定に用いる場合に比べて耐環境性や、環境からの放射に強く、背景光ノイズをある程度容易に排除できる。プローブの性能は、コンデンサマイクロホンと同等な感度が実現できることを確認し、遠隔からの音響による基礎分光分析が可能であることを示した。この試験装置では、 $1.5\mu\text{m}$ 帯の DFB レーザーを励起光源にしているが、将来的に $5\mu\text{m}$ より長波長側でテラヘルツの光源による分光をスタンドオフ形式で遠隔からの非接触計測にも適用が有望であると考えている。1990年代後半からは各種の赤外光源の研究開発が進展し、通信帯のレーザー光学部品等も含め周辺機器が充実してきており、DFB などの半導体レーザー以外にも VCSEL 等が高輝度光源として利用できる。また、波長の可変性なども MEMS を利用して高集積化が図られる傾向にある。[10] 光源と計測手法を適切に組み合わせることで、コストも含めて監視・計測の要求に見合った環境計測技術が実現でき、実用展開が期待できる。

参考文献

- [1] M. W. Sigrist, “Air monitoring Optical Spectroscopic Methods, Encyclopedia of Environmental Analysis and Remediation”, ed. R. A. Meyers, John Wiley & Sons, Inc., pp.84-117 (1998)
- [2] J.Reid, M.El-Sherbiny, K.Garside, and E.A.Balik, Appl. Opt., Vol.19, 3349 (1980)
- [3] P. D. Gordon and K. Goto, J. Appl. Phys. Vol.45 4350 (1974)
- [4] H. Sano, R. Koga, and M. Kosaka:Jpn. J. Appl. Phys. **22**, 1883 (1983)
- [5] M. Ohtsu, H. Kotani, and H. Tagawa, Jpn. J. Appl. Phys. **22**, 1553 (1983)
- [6] 山口 滋 佐藤 淳一 和家 功一光学 36 卷 5 号 (2007) 264
- [7] 「期待される中赤外光源小特集号」レーザー研究 **36** (2008)
- [8] 山口 滋、鄭 和翊、安田崇志、電子情報通信学会 2009 年ソサイエティ大会 シンポジウム 論文集 CS4-1 (2009 年 9 月 新潟)
- [9] 山口 滋,応用物理 第 77 卷 11 号 1310(2008)
- [10] S. Schilt·K. Zogal B. Kögel P. Meissner M. Maute ·R. Protasio,and M.-C. Amann, Appl Phys B 100: 321(2010)

デジタル一眼レフカメラによる鋼球の自由落下の瞬間写真撮影 — マルチフラッシュによる多重露光と重力加速度計測 —

横山直樹（総合科学技術研究所）

Synchronization of Digital Camera and Event in Linux Environment for Evaluate Gravity
Acceleration using multi-flash exposure

Naoki Yokoyama (Research Institute of Science and Technology)

キーワード：デジタル一眼レフカメラ 自由落下 多重フラッシュ

Keywords: Digital Camera, Free fall of steel ball, Multi-Flash

Abstract

Suitable synchronization between camera and free fall of steel ball event was discussed in previous papers. Delay between trigger point and actual shutter timing was about several hundreds milli-seconds. That is fatally large in critical conditions. In this paper method was introduced to avoid such delay using flash illumination. But in this case synchronization between flash and event is needed and discussed. Finally using multi-flash equipment Gravity acceleration was measured.

1. はじめに

USB 接続されたデジタルカメラを種々の方法で PC から制御する方法については、前 2 報の論文にまとめた。[1],[2] 今回はカメラのシャッターを PC から制御するだけで、露光はフラッシュで行った。本論文では複数のフラッシュを用いて多重露光を行い、一枚の静止画像に時刻が異なる 3 枚の対象画像を記録し、鋼球の自由落下における重力加速度を計測する実験を行ったのでその結果について報告する。

2. 実験方法

本研究で用いた対象現象は直径 25.5mm の鋼球を白色塗装したものを、直流リレーから取り外した電磁石でつり下げておき、その励磁電流をカットした際の自由落下である。PC 側からの制御回路は前々報 Fig. 1 と同様なので掲載を省略する。電磁石（コイル）と並列に入っているダイオードは誘導逆起電力による回路の損傷を防ぐためのものである。電磁石に印加する電圧は 28V 程度で十分に鋼球の吸着が可能であるから、オープンコレクタ型の外部 I/F であれば、直接 I/O カードからドライブすることもできる。このリレーズコントロールや多重フラッシュ照明の駆動は I/O カードの DO(Digital Out)から行った。フラッシュは 3 台用意し、PC からあらかじめ設定したタイミングでそれぞれの発光を制御した。カメラのリレーズオン、電磁石で吊り下げた鋼球の落下、3 台のフラッシュ発光ということで計 5 個の DO を使用した。フラッシュの駆動は、フォロカプラを用いて、入力側と出力側を電氣的に絶縁し、発光によるノイズに起因する電気系の誤動作を防いだ。遅延時間は、Linux の `usleep` 関数を用いてソフトウェア的にタイミングを取った。

3. 実験結果

まず発光時刻の精度を検証するために、前報と同様に簡単な光電変換系を用いて、3発のフラッシュ発光時間をデジタルオシロスコープで観測した。その結果を Fig. 1 に示す。

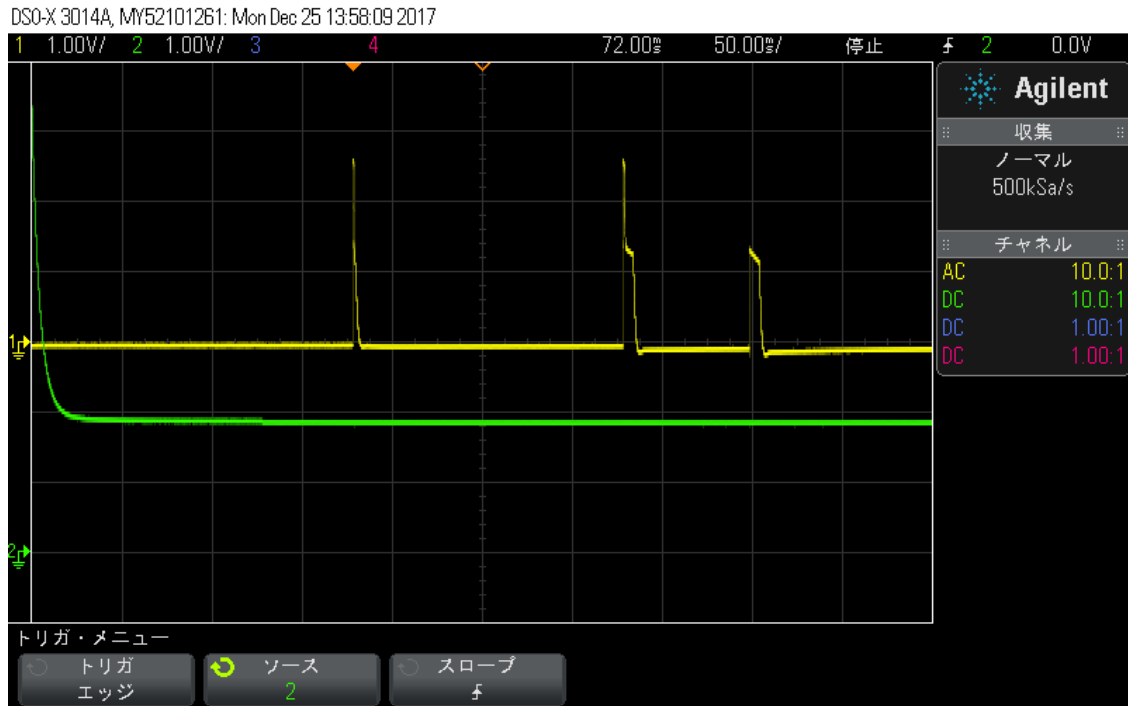


Fig.1 Flash lighting

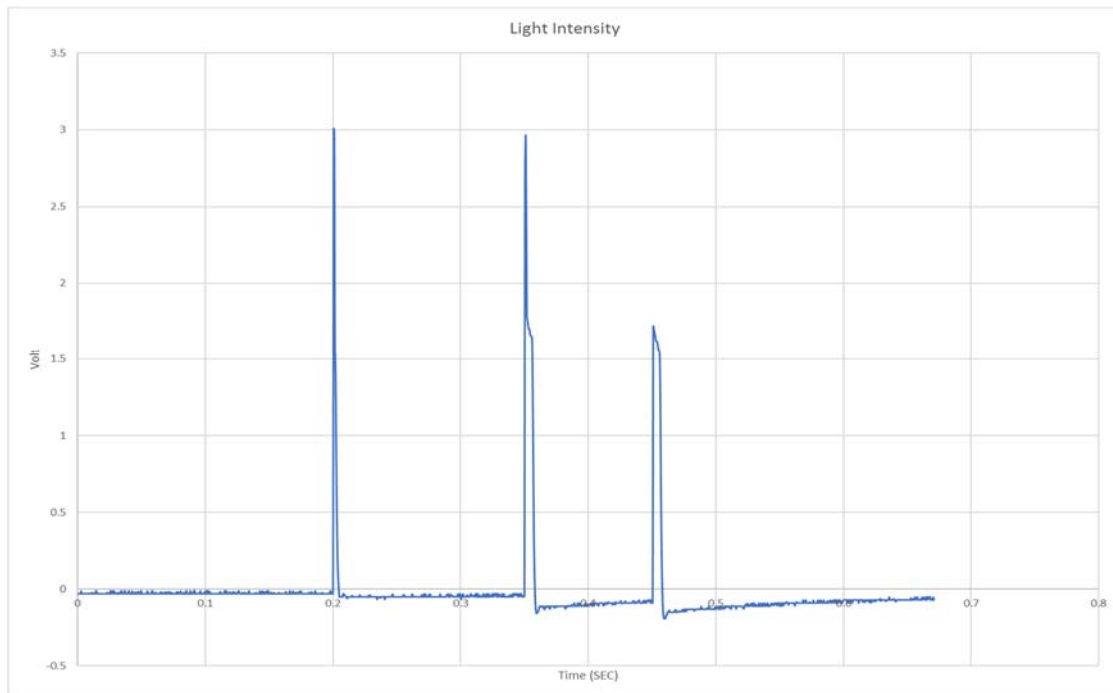


Fig.2 Intensity plot using captured data

Fig.1 において、上側のトレース(緑色)はトリガに使用したカメラレリーズオンの信号で、下側のトレース (黄色) はフラッシュの発光強度の時間変化である。Fig.2 はデジタルオシロスコープにトレースと同時に記録・保存されたデータのプロットである。光パルスの間隔を細かく検分するにはこちらのデータを使うことが可能である。得られた数値データから、発光時刻精度は±1ms程度であることが分かった。系全体のタイミングはソフトウェアで決めており、具体的には `usleep()`関数で実装している。これはマイクロ秒単位で呼び出しが可能であるが、実際にはミリ秒程度の精度しか得られない。

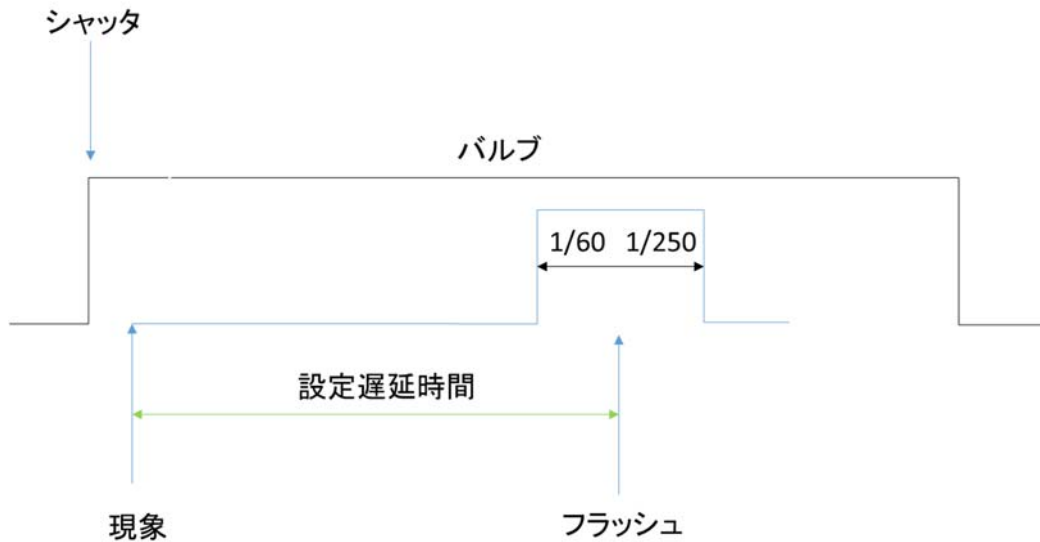


Fig.3 Timing diagram between Camera exposure, flashes and Event.



Fig.4 Experimental result-multi exposure

Fig.3 は、現象、カメラの露光、フラッシュ照明の時間関係を示している。フラッシュ照明を用いる場合は、現象とシャッターではなく、シャッターは開けておき、シャッターが開いている時間の中で現象に同期させてフラッシュ照明を行えば良いので、前報で問題となったレリーズタイムラグの影響を受けない。通常は暗視野でシャッターはバルブ動作などで、長時間開いておき、その間に現象とフラッシュを同期させるのであるが、完全な暗視野が得られない場合は、バックグラウンドの露光分を抑えるために 1/60 秒程度のシャッターを切ることが多いが、今回は、バルブ露光を行った。Fig.4 にフラッシュ点灯タイミングが、50ms,100ms,300ms の場合の結果を示す。

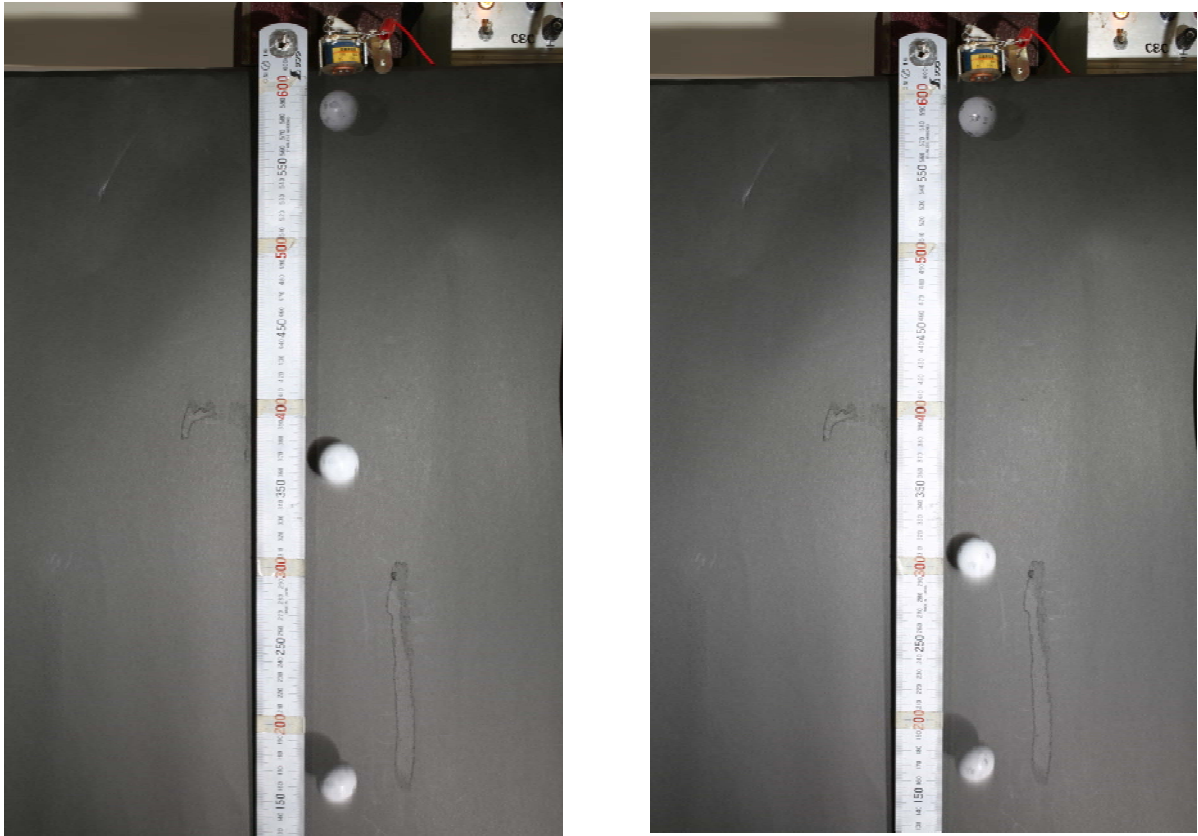


Fig.5 Experimental results delay 50 250 300 vs 50 270 300

フラッシュ発光のタイミングを変化させて多重露光した実験結果を Fig.5 に示す。それぞれの実験結果で、水平線で鋼球の位置をスケールから読みとり、位置差分と時刻差分から平均速度を求め、その変化から重力加速度を求めると、Fig.5 左図で 10.4m/s^2 、右図で 10.0m/s^2 となり最大 6 パーセント程度の誤差が出た。次の Fig.6 は右図の場合の結果について時刻と位置をプロットし、二次曲線を当てはめた結果であるが、解析加速度との一致が得られている。

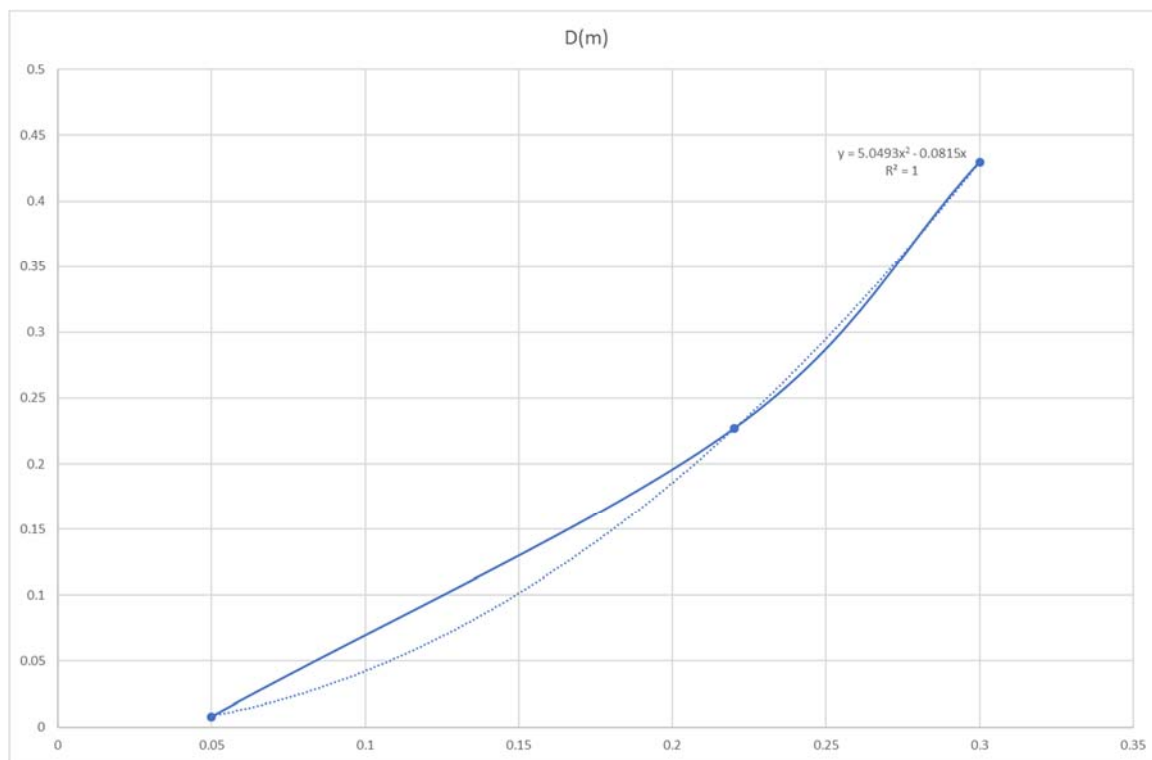


Fig.6 Time-Displacement analysis $y = 5.0493x^2 - 0.0815x$

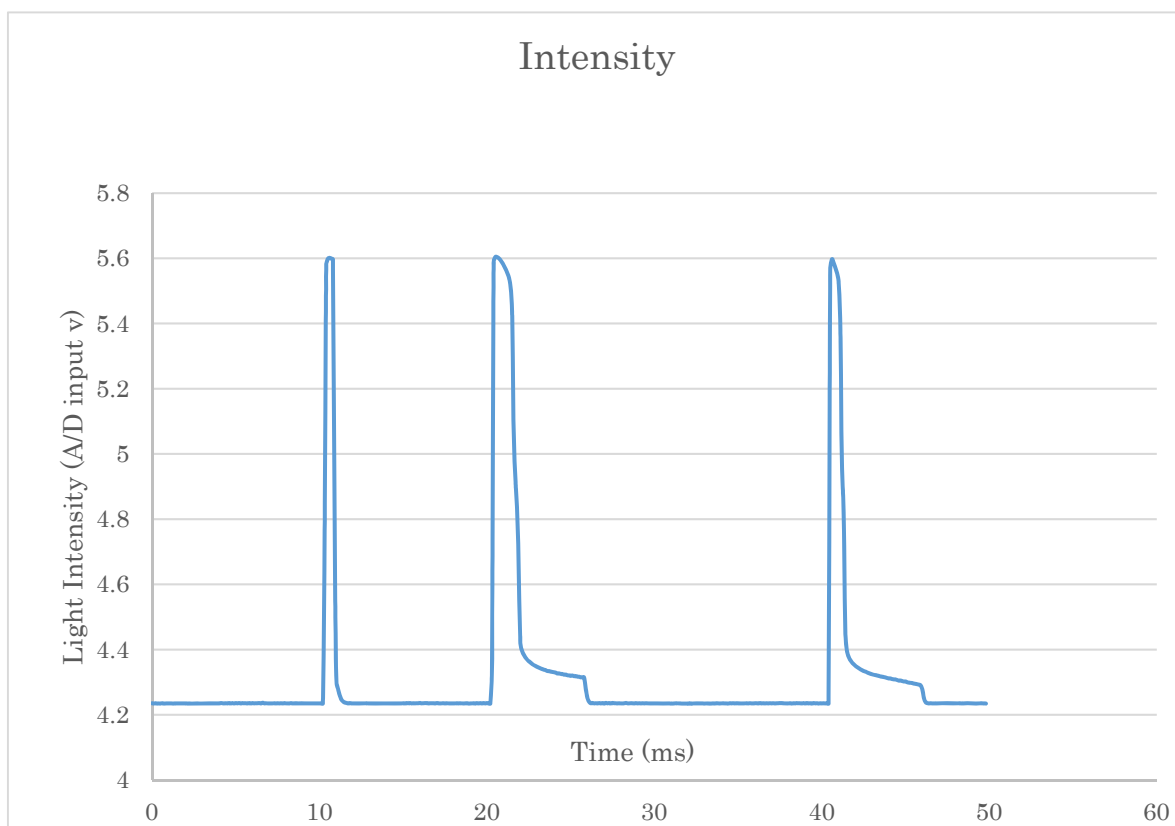


Fig.7 3 pulses' intensity profile

上図 Fig.7 は三つの光パルスを 10ms,20ms,40ms で点灯した際の光強度変化であるが、実はこのパルスが無限小の幅でないことで、画像がブレる結果になっている。このブレは、実験結果で確認できるが、この情報を積極的に利用してさらに情報を引き出すことが可能と考えられ、現在解析中である。

4. 結論

デジタル一眼レフカメラを PC から制御し、鋼球の自由落下をマルチフラッシュで多重撮影した。制御は、カメラのレリーズ端子を直接電氣的にショートする方法を用いた。フラッシュを 3 回個別に適宜点灯させ、一枚の静止画に 3 枚の時刻、位置が異なる物体像を多重記録した。3 個の時刻位置情報から、二つの差分情報を得て、異なる時刻での平均速度を求め、二つの平均速度の変化から重力加速度を計測した。高速度ビデオカメラによって自由落下現象を記録し、時刻位置情報を解析し加速度を求めても精度は期待できないが、本報での手法では静止画の空間解像度が高く、また差分を計算することにより、誤差が相殺されるので計測精度が向上できる。実際に得られた画像は、鋼球の反射強度分布をフラッシュ光強度で畳み込んだものになるので、フラッシュ光強度が既知であれば、流れ画像から速度情報を抽出することが可能と思われ、現在解析中である。今後は高速度ビデオでの撮影結果も併せて比較検討してみたい。

参考文献

- [1] デジタル一眼レフカメラによる鋼球の自由落下の瞬間写真撮影
— 現象とカメラの同期問題 —、横山 直樹、東海大学紀要 総合科学技術研究所、34、
24-29、2015
- [2] デジタル一眼レフカメラによる鋼球の自由落下の瞬間写真撮影
— 現象とフラッシュ照明の同期 —、横山 直樹、東海大学紀要 総合科学技術研究所、35、
14-19、2016

2016 年度プロジェクト研究（総合研究機構プロジェクト研究分）課題紹介

所属・資格については 2016 年度当時にて掲載

血液接触性医療材料における血栓付着メカニズムの解明

— 血小板活性化微細構造可視モデルの構築と新規材料の創生 —

研究代表者：	長谷部 光泉	医学部 医学科 専門診療学系 教授
	後藤 信哉	医学部 医学科 内科学系 教授
	長瀬 裕	工学部 応用化学科 教授
	松本 知博	医学部 医学科 専門診療学系 講師
	嶺 貴彦	医学部 医学科 専門診療学系 講師
	岡村 陽介	工学部 応用化学科 准教授
	田村 典子	医学部 医学科 内科学系 臨時職員（前・特任助教）

研究期間： 2014 年度～2016 年度

研究概要：

血液接触性医療材料の血栓付着メカニズムを体系的かつ明確に画像化し、ナノテクノロジー技術による材料開発にまで発展させる研究は未だ報告がない。本研究では、血栓付着の重要な因子である血小板について、材料上活性化状態での血漿・膜タンパク、内部微細構造のナノレベルの変化の可視化システムを構築する。血栓付着現象の根本的解明を目指す本研究は、今後の生体材料開発の方向性を提示し、世界をリードする材料開発に繋がる萌芽的研究と考える。

高プロトン伝導性無機-有機ハイブリッド材料を用いた次世代型燃料電池の創製

研究代表者：	伊藤 建	理学部 化学科 准教授
研究分担者：	長瀬 裕	工学部 応用化学科 教授
	小口 真一	理学部 化学科 准教授
	樋口 昌史	工学部 応用化学科 教授
	岡村 陽介	工学部 応用化学科 准教授

研究期間： 2014 年度～2016 年度

研究概要：

環境負荷低減の観点から有望な燃料電池の性能の向上には、100℃以上の中温領域・無加湿条件下で作動するプロトン伝導体が必要だが、現在主流の高分子系プロトン伝導体は伝導性が十分ではない。本研究では、世界的にも類例のないイオン液体-無機クラスターハイブリッド材料を利用したハイブリッドポリマーを創製し、高伝導性を発現させ、次世代型燃料電池用電解質を創製した。

多剤耐性菌に対する次世代型薬剤の開発

研究代表者：	笹川 昇	工学部	生命化学科	教授
研究分担者：	良原 栄策	工学部	生命化学科	客員准教授
	橘 裕司	医学部	医学科	基礎医学系 教授
	浅井 さとみ	医学部	医学科	基盤診療学系 准教授

研究期間： 2014年度～2016年度

研究概要：

ほとんどの抗生剤に耐性を示す多剤耐性菌の出現は大きな問題となっており、その対処法の開発は喫緊の課題である。そこで我々は特に問題となっている緑膿菌を含むグラム陰性多剤耐性菌に対する新規抗菌薬の開発を目指した。グラム陰性菌に特有な外膜を標的として作用する新規抗菌物質の開発に取り組んだ結果、多剤耐性緑膿菌および多剤耐性アシネトバクターに対して有効な新規抗菌物質を開発することに成功した。

イルカから学ぶ抵抗・騒音低減技術 ～流体力学と生物学の接点～

研究代表者：	稲田 喜信	工学部	航空宇宙学科	航空宇宙学専攻 教授
研究分担者：	森阪 匡通	海洋学部	環境社会学科	准教授
	吉田 弥生	海洋学部	海洋生物学科	特定研究員
	大泉 宏	海洋学部	海洋生物学科	教授
	高橋 俊	工学部	動力機械工学科	准教授

研究期間： 2014年度～2016年度

研究概要：

海に住むイルカは抵抗や音の発生を軽減するための独特の身体構造や行動を進化させている。ネズミイルカ科のイルカには背鰭や背中の隆起に突起構造を持つものが存在し、呼吸のために水面に出入りする際に生じる波や水しぶきの発生を抑えていると考えられている。また、ハンドウイルカでは親子のイルカが並泳する際に個体間に働く流体力学的な相互作用を利用して子イルカが泳ぐことなく親イルカに追従して移動することが知られている。これらの形態的特徴や行動の研究は生物学的に高い学術価値を持つとともに、工学的な応用（航空機や船舶における抵抗や騒音軽減など）への可能性も高い。そこで本研究では、流体力学的な観点からイルカの形態や行動に見られる上記の特徴を分析し、そのメカニズムを明らかにするとともに、工学的な応用の可能性を探る研究を行った。対象となるイルカの形態や行動を分析し、その結果をもとに模型を作製して流体力学的な実験を行い、抵抗の変化や水面の波の発生状況を定量的に分析した。また、得られた成果を工学的な応用するための展開研究を行った。

運動を行う物体の非定常流体特性を予測する革新的流体・構造連成シミュレーション手法と実証試験装置の開発

研究代表者：	高橋 俊	工学部 動力機械工学科 准教授
研究分担者：	福田 紘大	工学部 航空宇宙学科 航空宇宙学専攻 准教授
	山本 憲司	工学部 建築学科 准教授

研究期間： 2014年度～2016年度

研究概要：

多分野連携により革新的流体構造連成シミュレーション技術を開発し、これまで予測しえなかった連成現象を予測し、高精度な設計技術を開発する。またその設計性能を実証する試験装置を開発し、非定常流体構造連成研究の拠点としての明確な位置付けを築く。本研究の対象は、流体構造連成現象を中心として、エンジン燃焼室内におけるオイル液膜の相変化を含む挙動解析や、大振幅で振動する液体内包タンクの流体構造連成振動等と捉えている。

膵癌・胃癌における細胞間接着分子 Nectin/Necl の発現と microRNA による制御機構の解析：新たなバイオマーカーの開発と創薬を目指した国際共同研究

研究代表者：	平林 健一	医学部 医学科 基盤診療学系 講師
研究分担者：	中村 直哉	医学部 医学科 基盤診療学系 教授
	峯 徹哉	医学部 医学科 内科学系 教授
	中郡 聡夫	医学部 医学科 外科学系 教授
	川口 義明	医学部 医学科 内科学系 准教授
	鈴木 孝良	医学部 医学科 内科学系 准教授
	竹腰 進	医学部 医学科 基礎医学系 教授
	和泉 秀樹	医学部 医学科 外科学系 助教

研究期間： 2014年度～2016年度

研究概要：

細胞接着分子の一つである Nectin および Necl の発現と機能を解析することを計画した。さらに、Nectin/Necl の発現制御に関わる micro RNA (miRNA) を探索・解析することで、Nectin/Necl 及びそれに関連した miRNA を対象とした新たなバイオマーカーや治療法の開発の基盤を築くことを計画した。

研究の成果として、膵管癌と膵神経内分泌腫瘍では異なる Nectin subtype の発現を示すことを明らかにした。さらに、膵癌細胞における Nectin-3 及び Necl-4 の発現低下および Nectin-1 の膵癌癌関連線維芽細胞での高発現は、膵管癌の高悪性化に関連することが示唆された。また、Nectin-3 の発現低下は、膵神経内分泌腫瘍の高悪性化に関連することが示唆された。細胞株を用いた検討では、Nectin-3 の発現低下は膵管癌細胞の細胞増殖能亢進と遊走能亢進に関与することを明らかにした。さらに、Nectin-3 ノックダウン細胞を用いた miRNA マイクロアレイ解析により Nectin-3 に関連した miRNA を同定した。

ヒト HLA に特異的に結合する新規低分子免疫抑制剤の開発

研究代表者： 井上 茂亮 医学部 医学科 外科学系 准教授

研究分担者： 平山 令明 先進生命科学研究所 所長・教授
渡辺 伸央 医学部 医学科 外科学系 奨励研究員

研究期間： 2014 年度～2016 年度

研究概要：

幾つかの自己免疫疾患では、自己タンパク質由来のペプチドが特定遺伝子型の human leukocyte antigen class II (HLA) に提示され、自己反応性 T 細胞の活性化が誘導される。このような抗原ペプチドと HLA との結合を阻害する化合物は、疾患特異的な免疫抑制剤となる。この目的のために、我々は HLA 発現細胞と 96 ウェルプレートを用い、DR1 と DR15 に焦点をあてたりウマチと多発性硬化症に対する化合物の迅速簡便なスクリーニング系を構築した。

医療応用を目的とした霊長類におけるアロの認識と拒絶・受容機構の解明

研究代表者： 亀谷 美恵 医学部 医学科 基礎医学系 准教授

研究分担者： 秦野 伸二 医学部 医学科 基礎医学系 教授
平山 令明 先進生命科学研究所 所長・教授
大友 麻子 医学部 医学科 基礎医学系 助教

研究期間： 2015 年度～2017 年度

研究概要：

本研究では、ヒト妊娠免疫モデルとしてヒト化NOGマウスを用い、胎盤に発現する主要組織適合性抗原(MHC)関連分子に対する母体の抗体産生・免疫応答制御機構を解明する。アロ抗原特異的モノクローナル抗体を模倣する化合物を新規に確立し、さらにiPS細胞とそれから誘導した神経幹細胞を神経損傷動物モデルに移植後、上記の抗体や化合物を投与して副作用の低いアロ抗原特異的免疫抑制に基づく世界初の治療法開発に供する。

ヒト iPS 細胞由来肝組織を用いた肝疾患治療法の確立

研究代表者： 紙谷 聡英 医学部 医学科 基礎医学系 准教授

研究分担者： 加川 建弘 医学部 医学科 内科学系 准教授

住吉 秀明 医学部 医学科 基盤診療学系 講師

木村 啓志 工学部 機械工学科 准教授

研究期間： 2015 年度～2017 年度

研究概要：

肝臓は生体の代謝維持の中心臓器であり、再生医療の重要なターゲットである。ヒト iPS 細胞からミニ肝臓を試験管内で再構成する方法が開発され注目されているが、生体肝臓に必須な胆管等の構造を持たない欠点がある。

本研究では、マトリックス生物学、生体材料工学、デバイス工学などに加え臨床肝臓病学の視点を融合することで、目的細胞への分化を誘導する新規因子探索系や 3 次元構造の人工的再現系の構築を通じて、移植療法等に資する高機能な肝組織を誘導する。

ニューロン CMOS インバータを用いた連想メモリに関する研究

研究代表者： 藤本 邦昭 基盤工学部 電気電子情報工学科 教授

研究分担者： 松本 欣也 基盤工学部 電気電子情報工学科 准教授

福原 雅朗 情報通信学部 組込みソフトウェア工学科 講師

吉田 正廣 情報通信学部 組込みソフトウェア工学科 教授

研究期間： 2015 年度～2017 年度

研究概要：

連想メモリは、入力データと記憶した参照データを比較し、一致または類似する参照データを検索して出力するメモリであり、文字認識や指紋認証など様々な領域での応用が期待されている。その記憶方式はアドレスを使用せず人間の記憶方式に類似している。そこで、我々は神経細胞に似た特性を持つニューロン CMOS インバータを用いることで、簡単な構成の連想メモリを実現できるのではないかと考え本研究に着手した。

なお、ニューロン CMOS インバータを集積化する技術を有する研究グループは国内外で数グループあるが、ニューロン CMOS インバータを用いた連想メモリに関する研究を行っているのは国内外を探しても我々のグループのみである。

セレンの反応性を利用した病原性タンパク質の化学的・生化学的手法による制御

研究代表者： 金森 審子 工学部 生命化学科 教授

研究分担者： 小島 直也 工学部 生命化学科 教授

岩岡 道夫 理学部 化学科 教授

荒井 堅太 理学部 化学科 助教

研究期間： 2015年度～2017年度

研究概要：

アルツハイマー病などの原因となる病原性タンパク質の生成・蓄積を抑える生体内システムにおいて、硫黄やセレンを活性部位に含む酵素や小分子が機能している。本研究では、それら機能分子の作用機構を解明すると共に、セレンの高反応性を利用したモデル物質の創製を目的とする。抗酸化力に富み、細胞内でミスフォールドなタンパク質の修正や機能回復に寄与する、反応性と安全性を兼ね備えたセレン含有化合物開発し、変性タンパク質が関与する疾病の予防薬や治療薬への応用を目標とする。

医療用コンプトンガンマ線カメラの実用化への基礎開発

研究代表者： 株木 重人 医学部 医学科 専門診療学系 講師

研究分担者： 西嶋 恭司 理学部 物理学科 教授

榎田 淳子 理学部 物理学科 准教授

國枝 悦夫 医学部 医学科 専門診療学系 教授

研究期間： 2015年度～2017年度

研究概要：

広範囲なエネルギーを持つ核種を画像化可能な全く新しい医療用ガンマ線カメラがあれば、劇的に医療分野が発展することが期待される。そこで我々は京大で宇宙用に開発されている電子飛跡検出型コンプトンガンマ線カメラの医療応用開発を推進している。本カメラは核医学カメラの持つエネルギー領域の数倍に渡る範囲を画像化でき、今後多くの患者を救える可能性がある。本申請では実用化へ向けて高感度化、高分解能化、コンパクト化、の基礎的研究を進め、カメラの性能向上を目指す。

沖縄の水中文化遺産と「海底遺跡ミュージアム」総合プロジェクト

研究代表者： 小野 林太郎 海洋学部 海洋文明学科 准教授

研究分担者： 川崎 一平 海洋学部 海洋文明学科 教授

山田 吉彦 海洋学部 海洋文明学科 教授

仁木 将人 海洋学部 環境社会学科 教授

木村 淳 海洋学部 海洋文明学科 特任講師

研究期間： 2015年度～2017年度

研究概要：

水中文化遺産を海洋資源の一つとして保全・活用していく動きは近年、ユネスコを中心に国際的規模で活発化しつつあるが、本研究は近い将来、日本でも活発化することが予想される水中文化遺産を対象とする本格的な「海底遺跡ミュージアム化」の実現に向けた国内でも初となる大学を基盤とした学術的研究である。さらに本研究では、沖縄の石垣島や宮古島を対象に、水中文化遺産が地域社会や教育の活性化にも繋がるプログラム開発も視野に入れた新たな分野の開拓も目指す。

レーザーによる大気拡散火山ガス観測法の開発と箱根火山モニタリング

研究代表者： 大場 武 海洋学部 海洋文明学科 准教授

研究分担者： 遊部 雅生 工学部 電気電子工学科 教授

立崎 武弘 工学部 光・画像工学科 講師

研究期間： 2016年度～2018年度

研究概要：

2014、2015年にそれぞれ発生した御嶽山、箱根山の噴火は水蒸気噴火と呼ばれ、マグマ性ガスと地下水が混合した結果、蒸気が発生し、その圧力が原因で地殻が破壊された。地下で発生した蒸気の一部は地表に噴気として漏れ出ている。この噴気の化学組成は火山活動に対応して変動する。正確で高感度な噴気の観測法として革新的なレーザー分光分析を開発することにより、火山活動の予知や推移の推定が可能になり、火山防災に対する貢献が期待される。また、火山研究分野では研究人材が不足している。本研究では、活火山の地球化学的研究を通じ、研究者を養成することも目的の一つとする。

ゲノム編集動物作製基盤技術の確立と病態解析モデル作製への応用

研究代表者： 大塚 正人 医学部 医学科 基礎医学系 准教授

研究分担者： 三橋 弘明 工学部 生命化学科 講師

中川 草 医学部 医学科 基礎医学系 助教

研究期間： 2016年度～2018年度

研究概要：

本研究では、研究代表者らがマウスを用いて開発してきたCRISPR/Cas9関連技術をさらに発展させると共に小型魚類にも応用し、東海大学におけるゲノム編集動物作製基盤の確立と、筋肉および肝臓を対象とした病態解析モデル動物作製・解析を行う。また一連の研究の中で、独自の遺伝子挿入技術を応用した新規遺伝子発現制御システムを開発し、より洗練された疾患モデル作製法の開発と新たなコンセプトに基づく遺伝子治療法への応用を目指す。

東南アジアの FDI 型都市化と地域社会変容に関する調査研究

研究代表者： 内藤 耕 文学部 アジア文明学科 教授

研究分担者： 立石 謙次 文学部 歴史学科 東洋史専攻 講師

中西 雄二 文学部 文明学科 講師

研究期間： 2016年度～2018年度

研究概要：

外国資本による直接投資(FDI)は、近年、東南アジアにおいて従来にはない郊外型都市の形成発展を促している。本研究では、日系工業団地の進出に伴う地域の混住化と消費社会化、およびそれによる価値観の変容などに焦点をあてた調査を、インドネシア、タイ、ベトナムをフィールドとして行っている。東南アジア全体で進行しつつあるFDI型都市化の実相を、生活構造の変容を追うなどミクロなレベルで検証していくことを目的とする。

東海大学 総合科学技術研究所 紀要編集委員会

委員長 山口 滋 総合科学技術研究所 所長
理学部物理学科 教授

委員 横山 直樹 総合科学技術研究所 教授

事務局 志賀 桂子 研究推進部研究支援課
(総合科学技術研究所担当)

本紀要の全ての掲載情報は、著作権者の許諾なしに、著作物の全部または一部を無断で複写複製（コピー）することは、著作権法上での例外を除き、禁じられています。



Research Institute of Science and Technology

東海大学紀要 総合科学技術研究所

発行日 2017年3月31日

発行人 山口 滋 (東海大学総合科学技術研究所 所長)

発行 東海大学総合科学技術研究所

住所 〒259-1292 神奈川県平塚市北金目四丁目1番1号

電話 0463-58-1211 (代表)



Research Institute of Science and Technology

東海大学総合科学技術研究所

〒259-1292 神奈川県平塚市北金目4-1-1
TEL. 0463-58-1211